LES AUTOMATES

M. Torrès y Quévedo, l'éminent ingénieur espagnol, a été invité par le Centre d'études franco-hispaniques, à faire connaître ses travaux à Paris. Il a fait venir dans ce but quelques-uns des appareils et machines qu'il a construits et qui sont exposés au nouveau laboratoire de Mécanique physique et expérimentale de la Sorbonne, boulevard Raspail, dont le directeur, M. Kœnigs, a très cordialement accueilli le savant espagnol et ses machines.

M. Torrès dirige à Madrid le *Laboratorio de Automatica*, créé en 1907 par le gouvernement espagnol et destiné à permettre à M. Torrès de poursuivre ses travaux sur les machines à calculer et en même temps de construire des appareils pour l'enseignement et pour les recherches scientifiques des divers laboratoires qui dépendent de l'État. M. Torrès peut ainsi, n'ayant pas à se préoccuper de questions économiques, être un collaborateur absolument désintéressé des savants qui s'adressent à lui.

M. Torrès, auquel on doit un modèle de dirigeable très ingénieux, a bien voulu, avec une grande amabilité, nous donner lui-même, sur son œuvre et ses machines, des indications des plus intéressantes. Les appareils de M. Torrès peuvent être divisés en deux groupes : les *automates* et les *machines algébriques*.

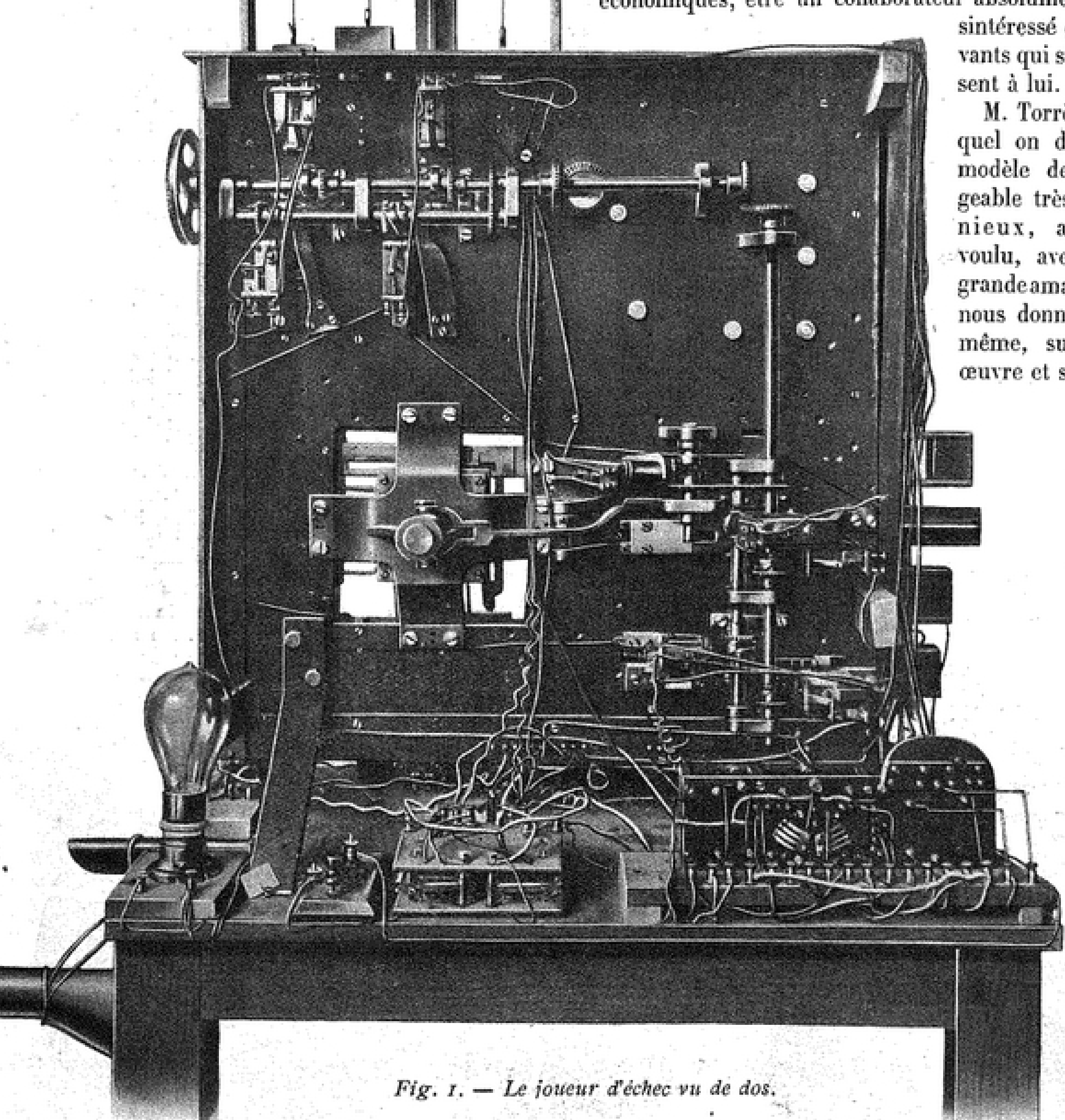


Fig. 1. — Le joueur d'échec vu de dos.

La dénomination d'automate est appliquée souvent à une machine qui imite l'apparence et les mouvements d'un homme ou d'un animal. Il s'agit alors généralement d'un mécanisme qui porte en lui-même la source d'énergie qui le fait marcher (un ressort par exemple) et qui exécute certains actes, toujours les mêmes, sans subir aucune influence extérieure. Les plus célèbres de ces automates sont ceux de Vaucanson, tel le joueur de flûte qu'il décrivit dans un mémoire de 1738. En 1741, il exposa un canard accomplissant toutes les fonctions de l'animal y compris l'alimentation et la digestion. Malheureusement sa collection ne nous est pas parvenue entière. Elle est disséminée dans un grand nombre de musées en Allemagne. Il en avait fait don à la reine Marie-Antoinette pour l'Académie des Sciences, mais la reine, mal disposée envers les constructeurs qu'elle voyait le roi s'appliquer, malgré elle, à imiter, en fit peu de cas, et la collection de Vaucanson fut dispersée avant d'arriver à sa destination.

Il y a une autre sorte d'automates, qui offrent un intérêt beaucoup plus considérable : ceux qui imitent non pas les gestes, mais les actions de l'homme et qui peuvent parfois le remplacer. La torpille automobile qui *sait* manœuvrer pour arriver à son but; la balance qui pèse les pièces de monnaie pour *choisir* celles qui ont le poids légal, et mille autres appareils très connus peuvent servir d'exemples d'automates de cette dernière espèce. On en trouve d'autres, beaucoup plus intéressants, dans les usines. Le progrès industriel se réalise principalement en substituant au

Fig. 2. — Le joueur d'échec vu de face. On distingue le damier sur lequel se déplacent les fiches représentant les rois et la tour ainsi que les 5 arbres moteurs commandant les diverses manœuvres.

travail de l'homme le travail de la machine; petit à petit on arrive à réaliser mécaniquement la plupart des opérations qui étaient primitivement exécutées par des ouvriers et on dit qu'une fabrication a été automatisée quand elle peut être exécutée complètement par les machines. — M. Torrès divise ces automates en deux groupes, suivant que les circonstances qui doivent régler leur action s'exercent d'une manière continue ou brusquement, par intermittences.

Nous pouvons prendre comme exemple du premier groupe, la torpille automobile. Le gouvernail horizontal, destiné à la maintenir à une profondeur à peu près invariable, est manœuvré par l'action d'un réservoir d'air comprimé qui fait équilibre à la pression de l'eau, et par un pendule. Les variations d'altitude produisent le déplacement d'une paroi qui sépare le réservoir à air de l'eau environnante; les variations d'inclinaison produisent les déplacements, par rapport à la torpille, du pendule qui reste vertical; le gouvernail horizontal est relié au pendule et à la paroi du réservoir, par des mécanismes qui l'obligent à prendre, à chaque moment, la position qui convient pour ramener la torpille à la profondeur voulue. Il s'agit donc d'établir entre trois mobiles : pendule, paroi, gouvernail, des liaisons mécaniques invariables. C'est là un problème du même genre que tous ceux qu'on étudie dans la cinématique ordinaire appliquée à la construction des machines. Son étude n'offre pas un intérêt spécial.

Dans les automates du second groupe, l'automatisme ne s'obtient nullement par des liaisons permanentes. Il a pour but, au contraire, d'altérer brusquement ces liaisons quand les circonstances l'exigent. Il faudra que l'automate, par une manœuvre très rapide en général, débraye ou embraye une poulie, ouvre ou ferme une soupape, etc. Il faut, en somme, qu'il intervienne à un moment donné pour changer soudainement la marche des machines qui seront, pour ainsi dire, dirigées par lui.

On peut trouver dans la description des machines de très nombreux exemples de ces interventions brusques, mais il est évident que cette forme d'automatisme ne se rattache pas à la cinématique et n'a jamais été systématiquement étudiée. M. Torrès propose de lui consacrer un chapitre spécial de la théorie des machines qui porterait le nom d'*automatique* et dans lequel on étudierait les moyens de construire des automates doués d'une vie de relation plus ou moins compliquée.

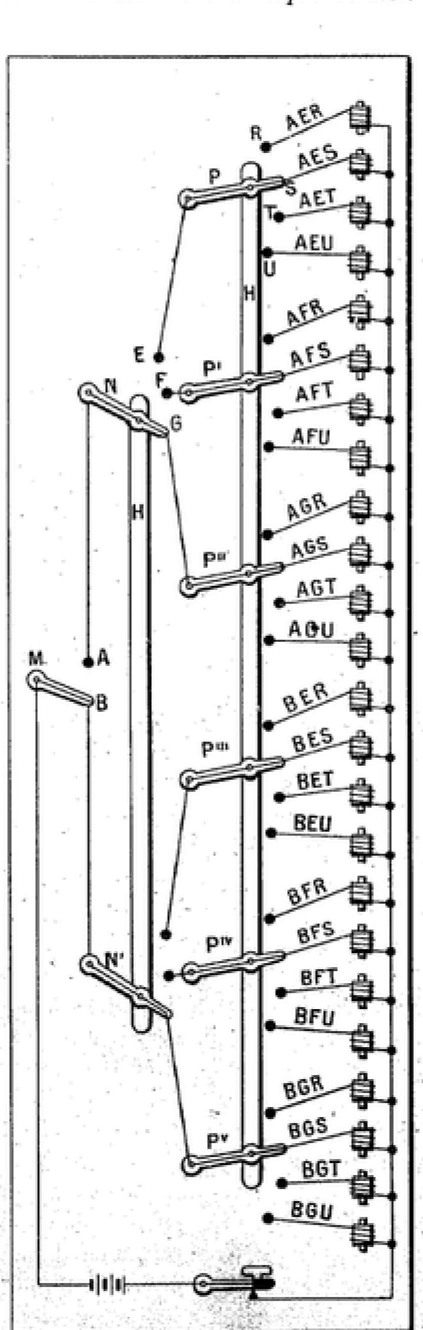


Fig. 3. — Schéma montrant comment on peut déterminer 24 opérations différentes.

Ces automates auront des *sens* (thermomètres, boussoles, dynamomètres, manomètres, etc.). L'impression reçue par chacun de ces appareils se traduira en général par un mouvement : le déplacement d'une aiguille sur un limbe gradué par exemple. Ces automates auront des *membres*, les machines ou les appareils capables d'exécuter les opérations dont ils seront chargés. La commande peut être faite par quelque moyen très simple, même s'il s'agit d'opérations compliquées. Cela se voit dans certaines horloges célèbres comme celles de Rouen, de Bâle, de Strasbourg, qui, par un déclanchement analogue à celui d'un réveil-matin, mettent en marche des marionnettes qui exécutent divers mouvements. Ces automates enfin auront *l'énergie* nécessaire, les accumulateurs, les courants d'eau, les réservoirs à air comprimé qui fourniront aux machines l'aliment pour fonctionner et faire fonctionner les machines destinées à exécuter les opérations nécessaires.

Il faut, en outre, et c'est là pour M. Torrès le problème principal de l'automatique, que les automates soient capables de *discernement;* qu'ils puissent, à chaque moment, en tenant compte des impressions qu'ils reçoivent, ou même de celles qu'ils ont reçues auparavant, commander l'opération voulue. Il faut que les automates imitent les êtres vivants en réglant leurs actes d'après leurs impressions, en adaptant leur conduite aux circonstances.

La construction des appareils qui jouent le rôle de sens n'offre, en théorie, aucune difficulté. Il en est de même des machines qui doivent exécuter le travail dont sera chargé l'automate. Par contre, quand on se demande s'il sera possible de construire

un automate qui, pour déterminer sa manière d'agir, *pèsera* les circonstances qui l'environnent, on estime, en général, que la chose peut se faire seulement dans quelques cas très simples; on pense qu'il sera possible d'automatiser les opérations mécaniques purement manuelles d'un ouvrier, tandis qu'au contraire les opérations qui exigent l'intervention des facultés mentales ne pourront jamais être exécutées mécaniquement.

Tel n'est pas l'avis de M. Torrès; pour lui, il est toujours possible de construire un automate dont tous les actes dépendent de certaines circonstances, plus ou moins nombreuses, suivant des règles qu'on peut imposer arbitrairement au moment de la construction. Ces règles devront évidemment être telles qu'elles suffiront pour déterminer en toute circonstance, sans aucune incertitude, la conduite de l'automate.

Non seulement M. Torrès pense que le problème n'est pas insoluble, mais il en a donné une solution très élégante. Comme exemple, il a construit un joueur d'échec, merveille d'ingéniosité que nous décrirons après avoir indiqué en quelques lignes les principes directeurs de M. Torrès pour la construction de ses automates.

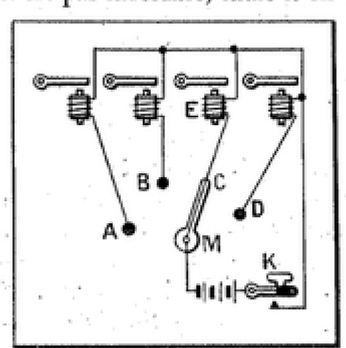


Fig. 4. — Schéma des connexions permettant de déclancher 4 opérations différentes au choix.

Ils se réduisent à l'emploi d'une méthode électro-mécanique excessivement simple. Nous avons dit plus haut qu'en règle générale, la variation de chacune des circonstances qui interviennent dans la direction de l'automate sera représentée par un certain déplacement, nous pouvons supposer que la pièce qui se déplace est un commutateur; au lieu d'un index qui parcourt une échelle graduée, nous aurons un balai qui parcourt une ligne de plots et entre en contact avec chacun d'eux successivement.

S'il y a *n* commutateurs, et si nous désignons par $P_1\ P_2\ P_3 \ldots P_n$ le nombre des plots conjugués avec chacun d'eux, le nombre total des positions du système à considérer sera le produit $P_1 \times P_2 \times P_3 \ldots \times P_n$.

A chacune de ces positions correspondra une certaine opération déclanchée par un moyen très simple : l'attraction de l'armature d'un électro-aimant, par exemple. Il y aura donc un électro-aimant pour chaque position du système et pour réaliser l'automatisation, il suffira d'établir les connexions électriques de telle manière que chaque électro-aimant entre en activité au moment où se produit la position correspondante des commutateurs. Dans le cas le plus simple, quand la marche de l'automate dépend d'un seul élément, la solution est celle qui est reproduite schématiquement par la figure 4.

Les variations de cet élément sont représentées par les mouvements du commutateur M qui tourne et entre successivement en contact avec chacun des plots A, B, C, D. Dans la figure le courant passe par l'électro-aimant E. C'est donc l'opération déclanchée par lui qui sera réalisée, si la manipulation K rétablit la communication en ce moment.

Fig. 5. Schéma montrant comment suivant la position du coulisseau C, le courant électrique peut passer dans un circuit p ou p'.

Dans le schéma figure 3, il y a trois commutateurs M, N, P. Le second entraîne dans son mouvement un autre commutateur N', le troisième entraîne les cinq commutateurs P', P'', P''', P^{iv}, P^{v}.

M peut prendre les deux positions A, B.

N peut prendre les trois positions E, F, G.

P peut prendre les quatre positions R, S, T, U.

Le système admet donc en tout vingt-quatre positions différentes et à chaque position correspond un électro-aimant qui entre en activité dès que le courant est établi.

On peut augmenter tant qu'on voudra le nombre des commutateurs et le nombre de plots conjugués avec chacun d'eux. Autrement dit, on peut augmenter indéfiniment le nombre des cas particuliers que l'automate aura à considérer pour régler ses actions; on peut compliquer à plaisir sa vie de relation.

Et cela sans difficulté théorique. Il n'y a aucune différence essentielle entre la machine la plus simple et l'automate le plus compliqué; l'un comme l'autre se réduisent à un système matériel soumis aux lois physiques qui dérivent de sa composition; mais quand ces lois sont compliquées, quand il faut faire un raisonnement important pour déduire de ces lois les manœuvres correspondantes, la machine qui les exécuterait aurait l'air de faire elle-même le raisonnement.

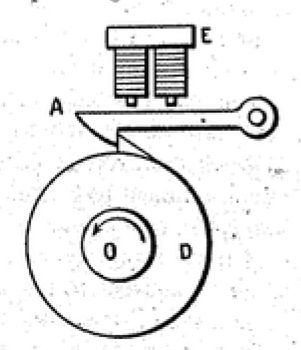


Fig. 6. — Schéma indiquant comment une manœuvre est déclanchée.

C'est bien l'impression que l'on a, en effet, devant le joueur d'échec de M. Torrès. Cet appareil joue une fin de partie : à l'aide de la tour et du roi blancs, il va chercher à faire échec et mat au roi

noir que manœuvre un joueur. On conçoit, ainsi que nous l'avons déjà dit plus haut, qu'il est nécessaire d'établir certaines règles que doit toujours suivre l'automate et qui déterminent, dans chaque cas où le place la volonté de son partenaire, les opérations qu'il doit faire.

Voici les règles que M. Torrès a imposées à son automate.

Si son adversaire joue contre les règles du jeu, l'automate allume une lampe et ne joue pas. Lorsque trois fautes ont été commises, l'automate refuse définitivement de jouer.

Si, au contraire, l'opérateur joue correctement suivant les règles, l'automate effectuera une des six opérations que nous allons énumérer, suivant la position qu'occupe le roi noir. Pour cela, M. Torrès considère sur le damier deux zones : l'une à gauche, formée de trois colonnes A, B, C; l'autre à droite, comprenant les colonnes F, G, H. Ceci posé :

Le roi noir					
est dans la même zone que la tour.	n'est pas dans la même zone que la tour et la distance verticale entre le roi noir et la tour est				
	plus grande qu'un pas	égale à un pas. La distance verticale entre les deux rois étant			
		plus grande que deux pas.	égale à deux pas et le nombre de pas qui mesure leur distance horizontale est		
			impair.	pair.	nul.
La tour fait horizontalement.	La tour descend un pas.	Le roi descend un pas.	La tour fait un pas horizontalement.	Le roi blanc fait un pas vers le roi noir.	La tour descend un pas.
1	2	3	4	5	6

Comment s'effectuent ces opérations? C'est ce que l'on comprend facilement en se reportant au schéma. Dans cette figure, on a employé des notations graphiques analogues à celles des figures 4 et 5. Expliquons-les.

Le rectangle C (fig. 5) représente un coulisseau qui peut glisser suivant la verticale. Il porte un balai B dont le pied P est fixé au coulisseau et dont le bout Q peut entrer en contact avec l'un ou l'autre des plots p, p' déterminant le passage du courant dans un circuit ou dans un autre. La ligne ondulée F représente un conducteur extensible, par exemple un ressort qui réunit le plot mobile β au plot fixe α sans gêner le mouvement du coulisseau.

Le disque D (fig. 6) tend à marcher, entraîné par le frottement de son arbre, mais il en est empêché par le cliquet A. Chaque fois que l'électro-aimant E attire son armature A, le disque D fera un tour complet et pendant qu'il fait ce tour, il oblige l'automate à exécuter une manœuvre déterminée.

Ceci dit, décrivons le cerveau de l'automate (fig. 7.):

Le coulisseau R indique la position horizontale occupée par le roi blanc;

Le coulisseau R' indique la position horizontale occupée par le roi noir;

Le coulisseau T indique la position horizontale occupée par la tour blanche;

Le coulisseau R_1 indique la position verticale occupée par le roi blanc;

Le coulisseau R'_1 indique la position verticale occupée par le roi noir;

Le coulisseau T_1 indique la position verticale occupée par la tour blanche,

ainsi qu'on le voit facilement sur la figure.

On remarque aussi sur cette figure huit disques 1, 1', 2, 3, 4, 4', 5, 5' qui, d'après la notation schématique rappelée il y a quelques lignes, commande une manœuvre déterminée. Ces manœuvres sont les suivantes :

1 La tour est transportée à la colonne A;

1' La tour est transportée à la colonne H;

2 La tour descend d'un pas;

3 Le roi descend d'un pas;

4 Le roi fait un pas à droite;

4' Le roi fait un pas à gauche;

5 La tour fait un pas à droite;

6 La tour fait un pas à gauche.

L'automate, en même temps qu'il transporte la pièce à jouer, entraîne les coulisseaux correspondants pour marquer sa nouvelle position.

Quand son partenaire joue, il commence par comparer la nouvelle position du roi noir à celle qu'il occupait précédemment. Si le mouvement effectué n'est pas d'accord avec les règles du jeu, il allume une lampe. Dans le cas contraire, il établit le contact K.

A ce moment, l'automate joue suivant les règles qu'on lui a fixées et il effectue une des six opérations prévues :

1° Supposons que le roi noir soit dans la même zone que la tour blanche, par exemple à l'intersection de la colonne C et de la tranche 7. Le courant passe par les balais a et b. Il va ensuite au balai b' qui commande l'électro-aimant 1' dans le cas présent, puisque la tour est dans la zone de gauche. Ce serait l'électro 1 qui serait actionné si la tour était dans la zone de droite;

2° Le roi noir n'est pas dans la même zone que la tour et la distance qui l'en sépare est plus grande qu'un pas. Le courant passe soit par a' (le roi noir n'est ni dans l'une ni dans l'autre des deux zones), soit par a et b (le roi noir n'est pas dans la même zone que la tour). De là, il s'en va à c, et de là à l'électro-aimant 2;

3° Dans la troisième hypothèse, la distance du roi et de la tour qui ne sont pas dans la même zone, est égale à un pas, mais la distance verticale entre les deux rois est plus grande que deux pas. Le courant passe de c à d et à l'électro-aimant du disque 3;

4° Si dans les conditions précédentes, la distance verticale des deux rois est égale à deux pas et que le nombre de pas qui mesure leur distance horizontale est impair, le courant passe de d par e à f et de là à l'électro-aimant du disque 4 si la tour se trouve dans une des colonnes A, G et à l'électro-aimant du disque 4' si la tour se trouve dans une des colonnes B, H;

5° Dans le cinquième cas qui correspond au précédent, mais avec un nombre pair de pas comptés horizontalement entre les deux rois, les connexions s'établissent de façon que le courant passe de *d* par *e* à *t'* et de là à l'électro-aimant du disque 5 si le roi noir se trouve à droite du roi blanc, et à l'électro-aimant 5' si le roi noir est à gauche du roi blanc; de déterminer son action à un moment donné en pesant toutes les circonstances qu'il doit prendre en considération pour réaliser le travail dont il est chargé. On peut de même concevoir un automate qui agisse avec une finalité, qui réalise une série d'actions en vue d'obtenir un résultat déterminé. »

M. Torrès exposait aussi au laboratoire de

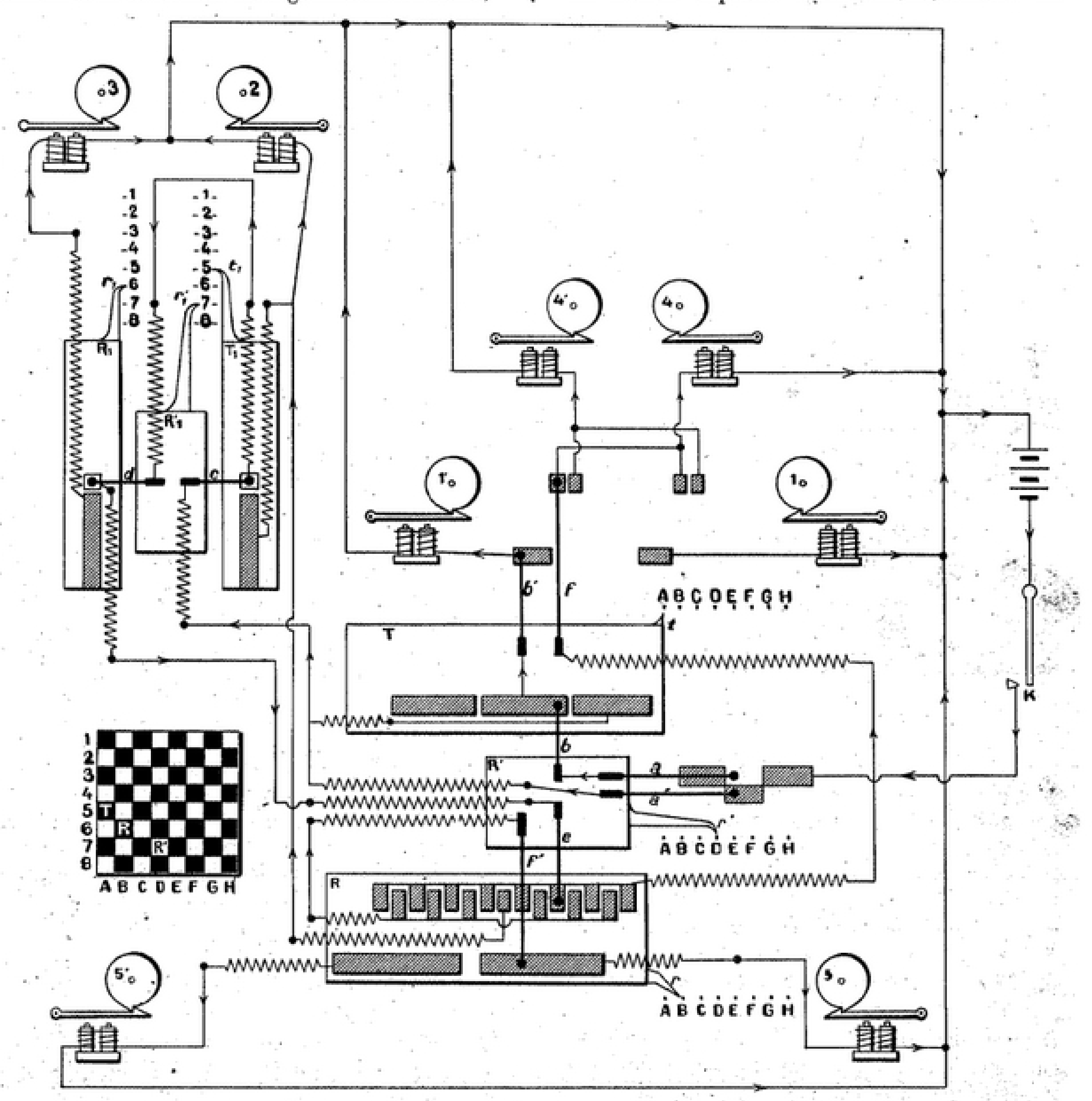


Fig. 7. — Schéma des connexions du joueur d'échec montrant comment, suivant la position des pièces, les diverses opérations sont commandées.

6° Enfin, si la distance horizontale des deux rois est nulle, le courant par *d* et *e* va actionner l'électro-aimant 2.

Tel est le principe du joueur d'échec de M. Torrès. Mais ce que nous n'avons pu indiquer, c'est l'ingéniosité qu'il a fallu dépenser pour arriver à réaliser cet appareil. Lorsqu'on le fait fonctionner, qu'on le voit apprécier les coups, vérifier la marche de son adversaire, puis jouer à son tour, on comprend que M. Torrès soit en droit de dire : « On peut aisément concevoir pour un automate la possibilité théorique M. Kœnigs d'autres machines toutes aussi originales : le télékine, appareil qui exécute les ordres qu'on lui envoie par la télégraphie sans fil et qui les interprète en agissant à chaque instant dans la forme voulue, en tenant compte de diverses circonstances extérieures; des machines algébriques représentant des fonctions continues au moyen de mouvements continus eux aussi; une machine à résoudre les équations algébriques, etc., qui montrent la science et l'ingéniosité de l'éminent ingénieur.

H. Vigneron.